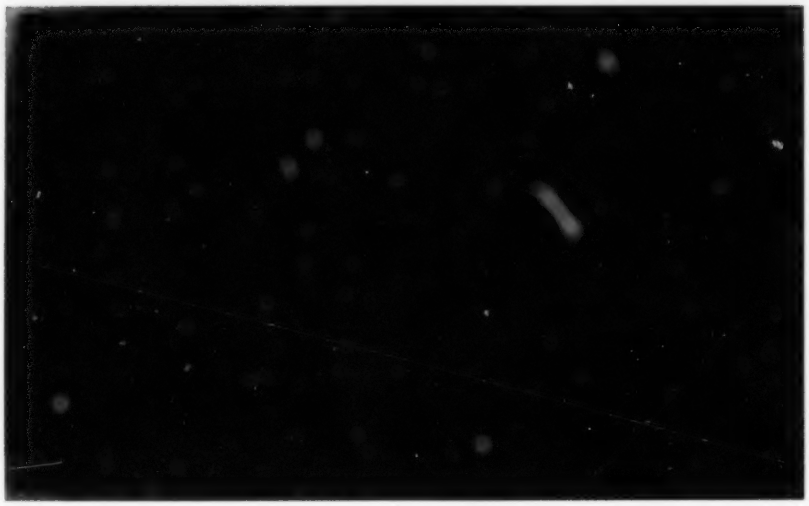
CENTRE DE RECHERCHE
SUR LES TRANSPORTS
(C.R.T.)
CENTRE FOR RESEARCH
ON TRANSPORTATION

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES COMMERCIALES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE



CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
C.P. 6128, SUCCURSALE A
MONTRÉAL
CANADA H3C 3J7

TÉLÉPHONE : (514) 343-7575
EMAIL : crt@crt.umontreal.ca
TÉLÉCOPIEUR (FAX) : (514) 343-7121

92-07825/

CRT-839

FORMATION, EXPÉRIMENTATION ET TRANSFERT TECHNOLOGIQUE EN PLANIFICATION/GESTION DU TRANSPORT ROUTIER DE MARCHANDISES : LE SIMULATEUR SIMTRUCK

par

Christian Lardinois
Michel Gendreau
Teodor Gabriel Crainic
Johanne Dion

Centre de recherche sur les transports — Publication #839

Juillet 1992

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec,
Bibliothèque nationale du Canada, 1992

RÉSUMÉ

Notre communication porte sur la conception et le développement d'un système informatisé destiné à être utilisé : (1) comme **instrument d'aide à la formation** de planificateurs et gestionnaires dans le domaine du transport routier de marchandises en lots brisés ou charges partielles, (2) comme **outil d'expérimentation** pour l'analyse et l'évaluation de nouvelles approches, stratégies ou techniques en ce domaine, et (3) comme **support au transfert technologique**, c'est-à-dire comme un moyen pour amener l'industrie du camionnage à découvrir et à se familiariser avec de nouvelles méthodes de planification/gestion.

Notre démarche méthodologique est basée sur l'utilisation des techniques de la modélisation mathématique, de la recherche opérationnelle et de l'informatique graphique dans le cadre de l'approche que la littérature anglo-saxonne désigne par "gaming-simulation". Cette approche nous a conduit à concevoir le système envisagé sous la forme d'un "management game", c'est-à-dire d'un système informatisé de simulation, d'analyse et de prise de décisions qui, dans un environnement interactif-graphique, reproduit la réalité et la complexité de diverses situations que peuvent rencontrer en pratique de véritables planificateurs, gestionnaires et autres professionnels dans des entreprises de camionnage en charges partielles. Ce **simulateur d'entreprises de transport routier de marchandises**, que nous appelons SIMTRUCK, est structuré de façon à inclure des interfaces usager-logiciel conviviales et ainsi faciliter son utilisation dans différents contextes : les entreprises de camionnage bien sûr, mais aussi les maisons d'enseignement, les organismes de formation, les agences gouvernementales et les firmes de consultants concernées par le transport routier de marchandises.

Notre présentation sera subdivisée en deux parties. Dans la première, nous

présenterons le système dans ses grandes lignes (structure informatique, principales composantes, mode de fonctionnement, ...) et on indiquera comment il est conçu pour pouvoir traiter différentes "**Situations de Jeu**" (une seule compagnie présente dans la simulation, ou bien plusieurs compagnies en concurrence les unes avec les autres, chacune étant gérée par un participant) ainsi que différents "**Niveaux de Décision**".

La seconde partie sera consacrée à la présentation plus détaillée de la version du simulateur à une seule compagnie, l'utilisateur se situant au **Niveau Tactique** dans le processus d'analyse et de prise de décision. Ce niveau a trait essentiellement au choix du nombre, de la localisation et de la taille des terminus, au design du réseau des services (c'est-à-dire des mouvements des remorques : routes et fréquences) et à l'acheminement des marchandises dans ce réseau (itinéraires et volumes). Les différentes interfaces usager-logiciel de cette version du simulateur seront présentées, et on indiquera comment un modèle de programmation non linéaire a été intégré au logiciel pour produire des solutions optimales et ainsi permettre à l'utilisateur d'évaluer par comparaison les performances de ses propres décisions. On dira aussi quelques mots sur la possibilité pour l'utilisateur d'avoir recours à un système d'aide à la décision.

Mots-clés: formation; simulation; transport des marchandises; camionnage; transfert technologique.

INTRODUCTION

Comme dans d'autres secteurs, la tâche des planificateurs, gestionnaires et autres responsables du transport routier de marchandises se caractérise par (i) la complexité et la diversité des décisions à prendre à différents niveaux dans l'entreprise, avec différents objectifs et horizons de planification/gestion, (ii) les fortes interactions entre ces niveaux, ces décisions et leurs effets, (iii) un environnement technologique, économique, commercial et réglementaire à la fois complexe et changeant. Le domaine du camionnage en est un qui, par ailleurs, se prête difficilement à l'expérimentation: toute modification des règles de jeu dans l'industrie et tout changement dans les stratégies et opérations des transporteurs ont des impacts tels qu'il s'avère difficile, voir impossible, de les évaluer sans les implanter réellement; il en est de même pour l'évaluation de nouvelles techniques de planification/gestion dans ce domaine. Au niveau des entreprises de camionnage, on constate en outre une certaine "résistance" au changement technologique qui se traduit par la difficulté à y faire pénétrer de nouvelles méthodes de travail.

Ces trois constatations conduisent à trois questions fondamentales: (1) Comment former des individus au travail complexe d'analyse et de planification/gestion dans des entreprises de transport routier de marchandises? (2) Comment évaluer des scénarios, des politiques, stratégies ou techniques en ce domaine sans les expérimenter en pratique, "in situ"? (3) Comment amener l'industrie du camionnage à prendre connaissance et à utiliser de nouvelles méthodes et outils d'analyse et d'aide à la prise de décision?

Pour fournir une réponse aux trois questions ci-dessus, nous nous sommes donnés pour but la conception et le développement d'un simulateur informatisé d'entreprises

de camionnage avec pour triple objectif qu'il soit utilisé: (1) comme instrument de formation à la planification/gestion dans le domaine du transport routier de marchandises; (2) comme cadre d'expérimentation pour l'analyse et l'évaluation de nouvelles approches et idées en ce domaine; (3) comme support au transfert technologique, c'est-à-dire comme un moyen pour amener l'industrie du camionnage à se familiariser avec de nouvelles méthodes et techniques de planification/gestion. SIMTRUCK est le nom que nous avons choisi pour ce simulateur.

1. DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

La démarche méthodologique utilisée est basée sur l'utilisation des techniques de la modélisation mathématique, de la recherche opérationnelle et de l'informatique graphique dans le cadre de l'approche que la littérature anglo-saxonne désigne par "gaming-simulation". Cette approche s'est surtout développée à la fin des années '40 avec l'émergence de "simulation games" conçus comme des modèles mathématiques informatisés et appliqués à différents contextes: la gestion d'affaires, les sciences politiques, le développement urbain, la psychologie, les communications, la science militaire, etc. Dans le domaine du transport de personnes, quelques simulateurs de ce type ont également été développés. Quant au transport de marchandises, il existe quelques simulateurs portant sur la logistique, la distribution physique et la localisation de dépôts, sur l'étude des tarifs en transport ferroviaire, ainsi que sur la modélisation de façon simplifiée du système de transport dans un pays en développement. Pour une revue des concepts théoriques et des techniques de l'approche "gaming-simulation", voir Greenblat (1987), entre autres. Pour une description d'applications de cette approche en transport et d'autres références, voir Lardinois (1988) et Lardinois, Crainic et Gendreau (1990).

L'approche "gaming-simulation" appliquée à notre projet signifie que SIMTRUCK a été imaginé sous la forme d'un "management game", c'est-à-dire d'un système informatisé de simulation, d'analyse et de prise de décisions dans un environnement contrôlé, interactif-graphique, reproduisant la réalité et la complexité de diverses situations que peuvent rencontrer en pratique de véritables planificateurs/gestionnaires et autres professionnels dans des entreprises de camionnage.

2. MODE DE FONCTIONNEMENT ET STRUCTURE DU SIMULATEUR

La conception et le développement de la version prototype de SIMTRUCK a été axée sur la simulation du travail de planification tactique dans des entreprises de camionnage assurant des services en lots brisés ("less-than-truckload" ou LTL). Cela signifie que ce prototype a été conçu sous la forme d'un logiciel d'apprentissage faisant intervenir une seule compagnie du secteur LTL considéré et faisant jouer à l'utilisateur le rôle d'un gestionnaire qui, au début de différentes périodes successives (chacune représentant environ 3 à 6 mois), se trouve confronté aux problèmes d'analyse et de prise de décision suivants:

- le choix du nombre, de la localisation et des caractéristiques des terminus,
- le design du réseau des services de transport assurés par l'entreprise, chaque service devant être défini par
  - son origine et sa destination,
  - sa fréquence hebdomadaire,
- l'établissement du routing des marchandises qui, pour chaque marché (paire de villes), doit être défini par
  - le ou les itinéraires empruntés par les marchandises sur le réseau des services,
  - le volume de marchandises sur chaque itinéraire,

l'objectif étant à la fois de minimiser les coûts d'opération et de maximiser la qualité,

c'est-à-dire d'établir un compromis judicieux entre ces deux objectifs contradictoires.

Ces différents choix constituent ce qu'il est convenu d'appeler les ***variables de décision***; ce sont celles sur lesquelles portent les choix de l'usager-participant. Avec les ***données de base*** définies ci-dessous, elles définissent entièrement le système de transport considéré ici au niveau tactique; ces données "exogènes" sont:

- le réseau routier, défini en termes de noeuds et de liens, avec des limites de vitesse sur ces liens;
- les marchés à desservir, chacun étant défini par
  - une paire de villes (localisées en des noeuds du réseau),
  - un niveau de demande, c.–à–d. un volume hebdomadaire de marchandises *devant* être transporté,
  - une norme de service, c.–à–d. un temps de livraison annoncé aux clients et qui doit être garanti pour, par ex., 90% de la marchandises ou des livraisons;
- les caractéristiques technico-économiques des véhicules (vitesse, capacité, coûts d'opération,...) qui sont tous identiques et supposés en nombre suffisant pour assurer les services offerts;
- des données définissant les caractéristiques technico-économiques des terminus (taux de classification, taux de chargement/déchargement, coûts unitaires de manutention, etc.).

Les caractéristiques des véhicules et les données relatives au réseau routier servent en fait à définir plus complètement les services: en supposant que les véhicules empruntent les chemins les plus rapides (tout en respectant les limites de vitesse), chacun des services est en fait défini non seulement par une origine, une destination et une fréquence, mais aussi par un temps de voyage. Il est à noter que la banque de données sur laquelle nous avons réalisé nos tests ne contenait d'ailleurs que des données sur les services (incluant les temps), et non sur les véhicules.

La figure 1 schématise le fonctionnement et la structure du simulateur. Elle indique notamment qu'il a été élaboré de façon à ce que les décisions décrites plus haut soient prises via une ***Interface Usager-Logiciel*** de type interactif-graphique qui permet à l'usager d'une part de consulter/visualiser à l'écran la ***Banque de Données*** décrivant l'état du système de transport et d'analyser les performances de la compagnie, et d'autre part d'entrer effectivement ses décisions dans la banque de données pour la prochaine période (cela aussi de façon interactive-graphique). Cette interface va également assurer la validation des décisions, en vérifiant par exemple qu'il existe bien des services entre les villes successives d'un itinéraire de marchandises.

Dès lors que toutes les valeurs des variables de décision sont fixées dans la banque de données, le ***Programme de Simulation*** proprement dit peut être mis en oeuvre pour simuler leurs effets sur les activités de la compagnie et ses performances durant la nouvelle période envisagée. Après exécution de ce programme, l'usager va donc se retrouver dans une nouvelle situation correspondant à l'état du système une période plus tard, et le processus va pouvoir se répéter autant de fois qu'il le souhaite. Une simulation globale est donc conçue comme un exercice séquentiel d'analyse et de prise de décisions couvrant une succession de périodes simulées en fonction des choix faits par l'utilisateur au début de chacune d'elles.

Quant aux résultats fournis par le programme de simulation à la fin de chaque période ("Résultats de l'usager" sur la figure 1), ils regroupent un vaste éventail d'informations et de statistiques sur tous les marchés et les itinéraires empruntés par les marchandises de ces marchés (temps de livraison, mesure de fiabilité, ...), sur tous les services (origines et destinations des marchandises les empruntant, volumes transportés, coûs d'opération, ...) et sur tous les terminus (arrivées et départs de camions, volumes manutentionnés, temps de chargement/déchargement, coûts,

...). Ces différentes informations définissent ce que nous appelons les ***variables de simulation***.

Ce qui précède identifie trois des principales composantes de la structure informatique du simulateur: une ***Banque de Données*** qui contient toute l'information sur le système de transport considéré, une ***Interface Usager-Logiciel*** pour la consultation/visualisation des données et l'entrée/validation des décisions, et un ***Programme de Simulation*** pour simuler les effets de ces décisions. La figure 1 indique par ailleurs que le simulateur a été conçu pour inclure deux autres composantes ou fonctions essentielles, à savoir une fonction ***Aide à la Décision*** et une fonction ***Optimisation***; elle indique aussi que c'est en fait un seul et même programme ou processus, appelé NETPLAN (Crainic et Roy, 1988), qui assure ces deux autres fonctions ainsi que la fonction Simulation. On précise ci-dessous ces trois fonctions.

La première fonction de NETPLAN dans SIMTRUCK est celle du Programme ou Module de Simulation qui simule les effets des décisions du participant-usager relativement à toutes les variables de décision. Pour remplir cette fonction, NETPLAN intervient comme un simple "système de comptabilisation": aucune optimisation n'est requise, et NETPLAN ne fait que traduire – comme un système d'équations – les relations entre données, variables de décision et variables de simulation.

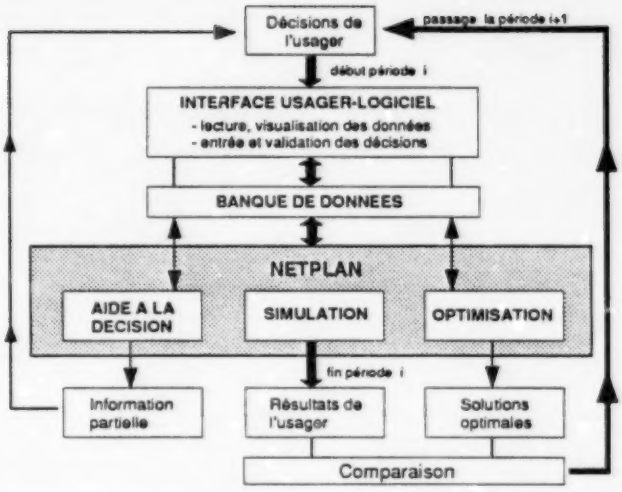


Figure 1 : Fonctionnement et structure du simulateur

La deuxième fonction en question plus haut est celle d'un Module d'Optimisation, et c'est à ce niveau, à la fin de chaque période de simulation, que NETPLAN peut jouer pleinement le rôle de modèle de programmation mathématique pour lequel il a été conçu: celui d'un modèle de programmation non linéaire qui formalise les deux problèmes centraux auxquels on s'adresse dans la version prototype de SIMTRUCK, à savoir le design du réseau des services et l'établissement du routing des marchandises en visant un compromis entre les coûts d'opération et la qualité des services. A ce niveau, NETPLAN est utilisé dans SIMTRUCK pour générer des "solutions optimales" dont les performances vont servir à évaluer, par comparaison, celles de l'usager-participant. En fait, deux solutions partiellement optimales et une solution globalement optimale peuvent être générées à cette fin. Ces trois solutions conservent les terminus faisant partie de la solution de l'usager.

- La première solution partiellement optimale (la moins bonne des trois solutions en question du point de vue de la fonction objectif de NETPLAN) est obtenue en conservant le réseau de service (configuration et fréquences) de l'usager et en faisant porter l'optimisation exclusivement sur le routing des marchandises.
- La deuxième solution partiellement optimale est obtenue de façon semblable à la précédente, mais cette fois l'optimisation porte en plus sur les fréquences du réseau de service (tout en conservant la configuration du réseau telle que décidée par l'usager).
- La troisième solution, globalement optimale, est obtenue en laissant toutes les variables de décision endogènes (sauf, comme on l'a dit, celles relatives aux terminus puisque ceux du participant sont conservés). En d'autres mots, l'optimisation porte dans ce cas simultanément sur la configuration et les fréquences du réseau de service ainsi que sur le routing des marchandises.

Soulignons que l'intérêt de générer trois "solutions optimales", et non pas seulement celle qui est globalement optimale, est de permettre à l'usager-participant de mieux évaluer les trois dimensions (configuration, fréquences, routing) de sa propre solution puisque deux des "solutions optimales" conservent en partie les décisions de l'usager relativement à une ou deux des dimensions en question.

La troisième fonction prévue pour NETPLAN dans SIMTRUCK est celle d'un Module d'Aide à la Décision qui peut être sollicité par l'usager au fur et à mesure que celui-ci prend ses décisions. Son rôle à ce niveau va être de simuler en partie l'effet de certaines décisions ou groupes de décisions proposées provisoirement par l'usager. Pour remplir cette fonction, NETPLAN doit être utilisé comme ci-dessus en tant que système de comptabilisation, mais la simulation alors réalisée ne doit porter que sur les décisions prises jusque-là, et les informations transmises à l'usager

doivent être filtrées de façon à ne pas faciliter exagérément sa tâche. Cette fonction d'aide à la décision n'est pas encore implantée.

3. MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET DÉVELOPPEMENT ALGORITHMIQUE

Du point de vue de la modélisation mathématique et du traitement algorithmique correspondant, des tests réalisés avec NETPLAN ont confirmé que ce programme pouvait, sans modification majeure, assumer deux des trois fonctions (simulation et optimisation) qui lui ont été assignées dans SIMTRUCK.

Nous avons par ailleurs procédé à la modélisation et à l'implantation informatique d'un concept de services fictifs pour éviter le problème des dépassements de capacité et celui des temps de calcul excessifs dans certaines circonstances, en particulier quand le modèle n'a pas assez de degrés de liberté endogènes (réseau fixé et routing endogène, ou réseau et routing fixés).

En fait, nous nous sommes rendus compte que ce problème est facilement évité au niveau de la solution du participant-usager par une validation automatique de ses décisions. (Validation de chaque terminus par rapport au noeud où il est localisé; validation de chaque service en s'assurant de la présence de terminus à l'origine et à la destination; validation du routing des marchandises en s'assurant de la présence de fréquences (capacités) suffisantes le long de chaque itinéraire). Il reste que la procédure en question plus haut qui a trait aux services fictifs s'avère pertinente pour générer les solutions optimales; des dépassements de capacité seraient en effet alors possibles si cette procédure n'existait pas, en particulier dans le cas où seul le routing est endogène. Précisons que ces services fictifs doivent être interprétés comme des "services improvisés" par la compagnie, avec les conséquences que cela implique en termes de retard pour les livraisons de marchandises.

Du point de vue de la troisième fonction de NETPLAN dans SIMTRUCK, c'est-à-dire celle qui a trait à son utilisation comme module d'aide à la décision, les choses sont plus complexes. Dans le cadre de cette fonction, NETPLAN doit intervenir en tant que système de comptabilisation (comme pour la fonction "simulation"), mais cette intervention doit être beaucoup plus rapide puisqu'elle se situe au niveau de l'évaluation des décisions "provisoires" de l'usager, au fur et à mesure qu'il les prend; en d'autres mots, ce qu'on veut, c'est une comptabilisation dont la sortie est quasi instantanée à l'écran. Certain tests préliminaires sur l'utilisation de NETPLAN ayant montré qu'il pouvait être difficile de rencontrer les exigences de vitesse relatives à cette troisième fonction, nous avons décidé de surseoir à son implantation, afin d'étudier plus à fond diverses modalités offertes par l'environnement informatique choisi pour la réaliser.

4. CONCEPTION ET IMPLANTATION INFORMATIQUES

4.1 L'environnement informatique

Le choix de l'environnement informatique dans lequel a été développé SIMTRUCK, a été guidé par la volonté de produire un logiciel se situant à la fine pointe de la technologie, afin d'éviter que l'apparence et la performance de celui-ci n'apparaissent trop vite comme désuètes. Plus spécifiquement, nous avons décidé de suivre les nouveaux standards d'interaction (GUIs - Graphical User Interface) entre l'usager et l'ordinateur en offrant une interface graphique qui permette à l'usager de réaliser ses opérations dans un environnement de fenêtres, menus, icônes..., tout en lui laissant beaucoup de souplesse quant à la disposition et l'utilisation de son écran.

Plusieurs environnements informatiques différents auraient permis un développement adéquat de SIMTRUCK dans la perspective énoncée ci-dessus. Après l'étude de plusieurs de ces options, le choix s'est arrêté sur un environnement qui, en plus d'être

disponible au C.R.T., assure une portabilité rapide sur d'autres environnements.

Le développement de SIMTRUCK a ainsi réalisé sur une station de travail SUN (SPARCstation) avec le système d'exploitation UNIX. L'environnement interactif-graphique y est assuré par l'utilisation du système de fenêtres X-WINDOW avec l'interface OPEN LOOK. Cet environnement, en plus d'offrir toute la fonctionnalité nécessaire pour le développement d'interfaces graphiques de haut niveau, possède plusieurs autres avantages, soient

1) beaucoup d'espace mémoire disponible, ce qui permet entre autres une utilisation efficace du module NETPLAN;
2) des capacités multitâches du système d'exploitation qui permettent à l'usager de réaliser plusieurs opérations simultanément;
3) la flexibilité du système de fenêtrage qui laisse à l'usager la liberté d'organiser la disposition des informations sur son écran en fonction de ses besoins;
4) une structure de réseau du système de fenêtres qui, en plus de permettre l'utilisation de SIMTRUCK en réseau, le rend portable directement sur d'autres architectures d'ordinateurs (IBM PC/PS-2, VAX, HP, ...).

Soulignons enfin que le choix de cet environnement informatique a été lié à la perspective de poursuivre le développement de SIMTRUCK au delà de sa version prototype, c'est-à-dire vers un logiciel complet qui intègre les plus récents progrès de l'informatique interactive-graphique et qui permette le traitement de différentes "situations de jeu" avec différents degrés de complexité. En particulier, notre objectif à plus long terme est de traiter des situations de concurrence, c'est-à-dire des situations avec plusieurs participants en charge de différentes compagnies et qui seront confrontés à des problèmes d'analyse et de prise de décision incluant les niveaux stratégique et opérationnel, en plus du niveau tactique considéré dans le prototype.

4.2 Banque de données

La banque de données, qui contient toutes les informations relatives au système de transport considéré, a été organisée et structurée de manière à maximiser la vitesse des opérations de consultation, modification et traitement de ces informations. Celles-ci se répartissent en six groupes de "composantes principales": les NOEUDS correspondant aux villes et autres lieux géographiques importants du réseau, les LIENS correspondant à la présence de routes entre les noeuds, les TERMINUS ou dépôts, les MARCHÉS à desservir, les SERVICES offerts entre les terminus et les ITINÉRAIRES (suites de services) empruntés par les marchandises de chaque marché. Chaque composante correspond à un type d'enregistrement et est caractérisée par un ensemble de variables (coordonnées géographiques et nom du noeud, longueur et vitesse maximum sur un lien, etc.). Une ***structure de multiliste*** (voir Claybrook, 1983) est à la base de l'organisation des informations dans la banque de données de façon à pouvoir, à partir d'un enregistrement, atteindre toutes les informations auxquelles celui-ci appartient [origine/destination d'un service, parcours (suite de liens) d'un service, itinéraires empruntant ce service, etc.].

La figure 2 schématise l'organisation générale de la banque de données. On y retrouve les composantes principales, accompagnées dans certains cas d'une partie "résultats" qui contient les informations relatives à chaque type de solution (celle du participant, et les différentes solutions optimales disponibles), pour l'enregistrement en question (ex: taux d'arrivée, temps d'attente,... à un terminus). Nous avons ajouté certaines composantes secondaires qui permettent de conserver des informations plus complexes [relation "plusieurs-plusieurs" (<<- - - >>): par ex. un lien peut être emprunté par plusieurs services, et un service peut être formé de plusieurs liens]. La banque de données comporte aussi des blocs actuellement moins "rattachés" (mais

qui le seront davantage dans la suite) et qui contiennent des données telles que les caractéristiques des véhicules et des terminus et les résultats globaux des différentes solutions (ex.: coût total). Les liens logiques sont établis par des pointeurs, et les accès aux informations sont implantés à l'aide de listes chaînées, de listes d'adjacence, de tableaux et de matrices de pointeurs.

Cette structure de banque de données est complètement implantée en langage C, avec les procédures de base pour la gérer, lesquelles incluent, entre autres, un module de création d'une banque à partir de données textuelles sur fichier et un module de chargement/sauvegarde de la banque basé sur un remplacement des liens virtuels (pointeurs) entre les composantes par une numérotation adéquate pendant le séjour sur disque.

Quant à la banque de données proprement dite utilisée pour le développement du système et les tests, elle a été constituée à partir du réseau opéré il y a quelques années par une entreprise québécoise de camionnage, entre les côtes Pacifique et Atlantique. On s'est limité en fait à un sous-ensemble constitué de 7 villes (noeuds), 36 marchés et 20 axes routiers (liens), avec un terminus dans chacune des 7 villes et un maximum de 29 services directs.

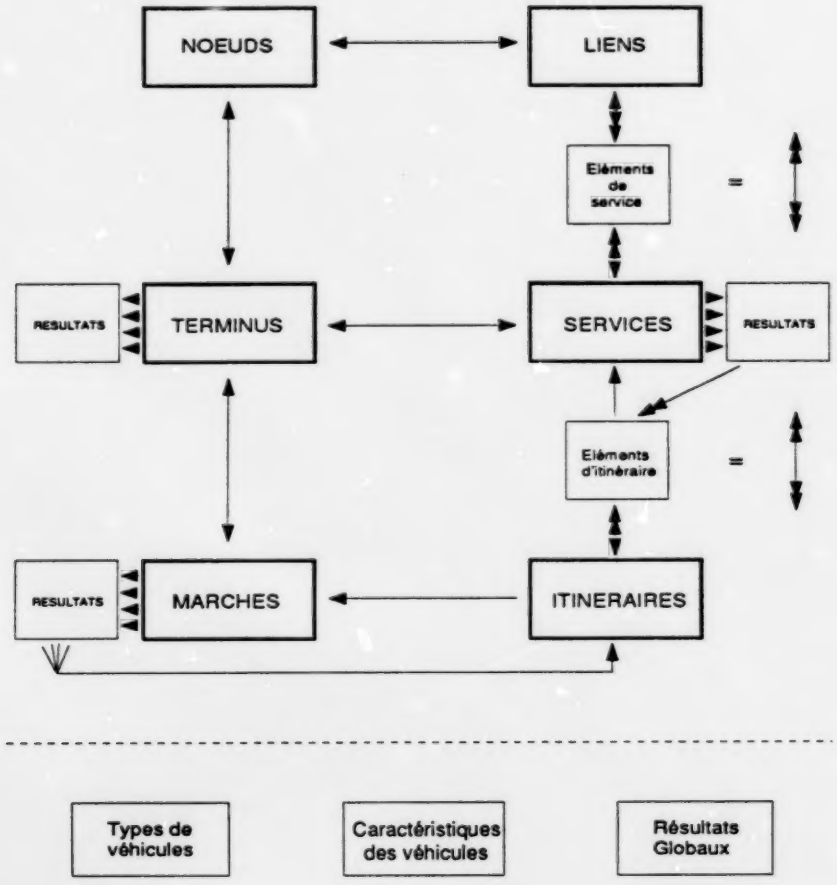


Figure 2 : Structure de la banque de données

4.3 Interfaces

L'interface usager-logiciel a été conçue et développée de façon à reproduire de façon aussi claire et cohérente que possible le processus d'analyse et de prise de

décisions au niveau tactique dans une entreprise de camionnage en lots brisés, ou tout au moins ce que ce processus devrait être.

L'interface a été divisée en trois modules principaux correspondant à un regroupement fonctionnel des différentes capacités du simulateur: un module GESTIONNAIRE qui permet d'accéder aux différentes fonctions du système, un module ÉDITEUR pour la prise de décision (c.–à–d. pour la manipulation des variables du système), et un module CONSULTEUR qui permet la consultation textuelle et graphique des résultats de la simulation et des différentes optimisations. Ces modules sont indépendants mais peuvent co-exister à l'écran, de même qu'ils peuvent se fermer sous forme d'icône au besoin. De plus, le module CONSULTEUR peut apparaître plusieurs fois sur le même écran de façon à pouvoir consulter plusieurs solutions en même temps. L'interface de chaque module a été complètement définie (présentation, commandes, choix des manipulations, ...) pour être efficace, souple et agréable d'utilisation. Les différentes fenêtres formant les interfaces peuvent être déplacées, rapetissées, agrandies, fermées, etc...., le tout aisément et au gré de l'usager (selon le standard OPEN LOOK) dans l'environnement assuré par le système de fenêtres X Window.

L'interface du GESTIONNAIRE se compose d'une fenêtre de base contenant un canevas textuel qui décrit sommairement les paramètres de la séance de simulation en cours. Cette fenêtre offre cinq commandes permettant d'activer les principales fonctions du simulateur. La commande "File" fait apparaître un menu dont les options permettent à l'usager d'effectuer le chargement et la sauvegarde des données d'une séance de simulation. La commande "Edit" ouvre la fenêtre de base du module ÉDITEUR. La commande "Simulate" lance la simulation, c'est-à-dire la fonction "comptabilisation" de NETPLAN sur les décisions de l'usager après validation de celles-ci. La commande "Optimise" affiche une sous-fenêtre dans laquelle l'usager

peut demander au système de générer une ou plusieurs des trois solutions optimales possibles. La commande "Consult" ouvre la fenêtre de base du module CONSULTEUR après avoir fait apparaître un menu pour le choix de la solution à consulter.

L'interface de l'ÉDITEUR (figure 3) est composée d'une fenêtre de base qui présente un canevas graphique permettant de visualiser le système de transport et les éléments qui le composent. Il est possible de faire défiler ce canevas verticalement et horizontalement pour consulter de gros réseaux; ce canevas est de plus divisible en plusieurs vues. La fenêtre contient six commandes: la commande "View" fait apparaître un menu des différents éléments du système qui peuvent être consultés dans une sous-fenêtre, comme par exemple la liste des itinéraires et leurs caractéristiques. Les deux commandes qui suivent servent à ajuster certains attributs de l'interface, de même qu'à procéder à la validation automatique des décisions de l'usager. Les trois commandes de droite permettent de ***modifier graphiquement*** (sur le réseau) les variables du système en créant, modifiant ou éliminant des terminus, services et itinéraires. La fenêtre de base est accompagnée d'une sous-fenêtre de commande (Display Controls) qui permet de contrôler l'affichage des informations sur le réseau du canevas. L'usager y formule une requête d'affichage en choisissant un élément (ex: service), un attribut (ex: fréquence) et un marché ou, s'il le désire, le réseau dans son ensemble. La commande "Apply" provoque l'affichage de l'information demandée sur le réseau.

L'interface du CONSULTEUR est conçue selon les mêmes principes que celle de l'ÉDITEUR: le canevas présente le réseau de transport et une sous-fenêtre de contrôle d'affichage permet à l'usager de formuler une requête pour inspecter graphiquement les résultats de la solution consultée. Dans la zone de commandes de la fenêtre, la commande "Load" permet de changer la solution consultée pour une autre, tandis que la commande "Report" a été conçue pour afficher une sous-fenêtre permettant

de diriger la sortie du rapport ou section de rapport à l'imprimante ou dans des sous-fenêtres de consultation.

Toute la fonctionnalité générale des interfaces présentées ci-dessus est implantée; en d'autres mots, toutes les fenêtres, menus, commandes, icônes, etc. sont présents. Au niveau des fonctions spécifiques dans chaque module, nous nous sommes concentrés sur les plus importantes de façon à obtenir un prototype opérationnel démontrant tout le potentiel du simulateur. Le module GESTIONNAIRE est complété et toutes ses fonctions sont implantées. Pour ce qui est du module ÉDITEUR, la fonction "View" est implantée et permet effectivement de consulter textuellement tous les éléments du sytème et leurs variables; nous sommes en train de compléter l'implantation des procédures d'affichage graphique d'informations sur le réseau, de même que l'implantation des trois commandes de modification interactive-graphique des variables, soient "Create", "Modify" et "Eliminate". Disposant par ailleurs d'une librairie de fonctions graphiques de haut niveau et spécifique au graphisme de réseau, nous avons adapté cette librairie à l'environnement X Window pour accélérer le développement de cette partie du simulateur. Évidemment, ce travail au niveau du graphisme a été organisé pour servir aussi au module CONSULTEUR, étant donné la similarité de développement entre ces deux modules.

4.4 Utilisation de Netplan dans Simtruck

Tel qu'expliqué dans la section 2, NETPLAN remplit trois fonctions dans SIMTRUCK: (i) simuler les effets des décisions de l'usager-participant, (ii) générer les trois solutions optimales, et (iii) fournir de l'aide à la décision au fur et à mesure que l'usager prend ses décisions. Pour l'instant, le prototype n'utilise NETPLAN que dans les deux fonctions principales: simulation et optimisation. Un module spécifique a été construit qui permet d'exécuter NETPLAN comme un sous-processus parallèle,

c.–à–d. n'empêchant pas l'usager d'utiliser les autres fonctions du système pendant l'exécution de NETPLAN. Un message avertit l'usager du retour du processus NETPLAN, et donc de la disponibilité des résultats dans la banque de données.

Nous avons examiné la possibilité d'un transfert direct en mémoire comme moyen de transfert des informations entre NETPLAN et SIMTRUCK (plus exactement: entre NETPLAN et ce qui, dans SIMTRUCK, est extérieur à NETPLAN), mais nous avons finalement conservé le principe d'un module de lecture/écriture sur disque dur. Ce module de lecture/écriture extrait de la banque de données les informations nécessaires à NETPLAN et les inscrit dans un ensemble de fichiers temporaires. A l'inverse, au retour de NETPLAN, ce module permet la lecture de ces mêmes fichiers et le chargement des résultats dans la banque de données. La structure de ces fichiers temporaires a été conçue de manière à accélérer le chargement des résultats provenant de NETPLAN dans la banque de données tout en minimisant la quantité d'informations à transférer.

Ce module d'utilisation de NETPLAN dans SIMTRUCK pourra aisément être modifié (ou augmenté) pour permettre un transfert direct en mémoire si cela s'avère nécessaire pour la troisième fonction de NETPLAN, soit l'aide à la décision.

5. CONCLUSION

La construction de la version prototype du simulateur SIMTRUCK a été réalisée conformément avec l'objectif – à plus long terme – de déboucher sur un produit "plus sophistiqué et plus complet" que le prototype. Le choix d'une station de travail SUN a d'ailleurs été réalisé dans la perspective de ces développements futurs.

A long terme, nous visons un simulateur qui pourra faire intervenir simultanément plusieurs usagers-participants et qui les confrontera à trois niveaux de décision: (N1) Le premier niveau, dit STRATÉGIQUE, est le niveau de décision "supérieur" dans

toute entreprise de camionnage; il a trait aux problèmes de nature économique et commerciale qui déterminent sa politique d'offre et de développement dans un environnement concurrentiel: étude et choix des marchés à desservir, définition des tarifs, choix des normes de service (délais de livraison annoncés aux clients), planification financière (incluant des emprunts bancaires), etc. (N2) Le second niveau, celui de la planification TACTIQUE du système de transport proprement dit, est celui considéré dans la version prototype du simulateur: choix du nombre, de la localisation et de la taille des dépôts/terminus, design du réseau de services, c'est-à-dire des mouvements des remorques (configuration et fréquences), et routing des marchandises. (N3) Le troisième niveau, dit OPÉRATIONNEL, porte sur la construction des routes des chauffeurs, c'est-à-dire en fait des tracteurs.

La version prototype de SIMTRUCK assure la crédibilité de nos travaux et démontre la faisabilité de nos objectifs à la fois en termes de formation, d'expérimentation et de support au transfert technologique. Dans le contexte de crise qui sévit actuellement dans l'industrie du camionnage, ces objectifs sont plus que jamais d'actualité: le développement des ressources humaines et l'adoption de techniques modernes de planification/gestion sont désormais indispensables dans cette industrie.

RÉFÉRENCES

Claybrook, B.G.. File Management Techniques. John Wiley and Sons. 1983.

Crainic T.G. et Roy J.. OR tools for tactical freight transportation planning. European Journal of Op. Res. 33(3). 1988. 290–297.

Greenblat C.. Designing Games and Simulations. Sage Publ. 1987.

Lardinois C.. Simulation, gaming and training in a competitive multimodal multi-company intercity passenger transportation environment. Journal of the Operational Research Society 40(10). 1989. 849–861.

Lardinois C., Crainic T.G. et Gendreau M.. Conception et développement d'un simulateur d'entreprises de camionnage à des fins de formation, d'expérimentation et de transfert technologique. Les Cahiers Scientifiques du Transport 22. 1990.